

УДК 556.3:622.142.5

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Пименов З.Г., аспирант гр. ГМа-231, I курс
Научный руководитель: Бахаева С.П., д.т.н., доцент,
профессор кафедры МДиГ
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Введение. Гидрогеологические условия месторождения имеют прямое влияние на устойчивость бортов карьеров и определяют геомеханическое состояние массива пород. Моделирование гидрогеологических процессов позволяет с большей точностью прогнозировать положение подземных вод при проектировании открытых горных выработок, а также получать достоверные результаты оценки устойчивости бортов карьеров.

Гидрогеологическая модель

Гидрогеологическое моделирование рассматриваемого месторождения выполнено в упрощенной форме в двухмерной постановке задачи, с последующей визуализацией в трехмерном пространстве. Данная методика моделирования обусловлена относительно однородными геофильтрационными условиями водопроводящей толщи.

Гидографическая сеть на земной поверхности вблизи месторождения представлена единственной рекой, ширина русла которой достигает 35 м, а глубина не превышает 2,5 м.

Подземные воды вмещающей толщи месторождения приурочены к двум водоносным горизонтам: грунтам четвертичных отложений, большую часть времени находящимся в осущенном состоянии, и трещиноватым карбонатно-магнезиальным породам – основному водогоризонту месторождения, с коэффициентом фильтрации $k = 0,248 \text{ м/сут}$.

Депрессионная воронка открытой горной выработки при достижении проектного горизонта 235 м представлена на рис. 1. Положение гидроизогипс определено по вертикальным разрезам, на которых отстроены депрессионные кривые по величине водопритока к карьерному контуру (по уравнению Дюпюи) с использованием зависимости восстановления напора от расстояния до поверхности осушения [1]:

$$h = \sqrt{h_0^2 + 0,73 \frac{Q}{k} \lg \frac{x}{r}}, \quad (1)$$

где h – высота уровня воды на расстоянии x от оси карьерной выемки, м; h_0 – уровень воды в выработке (начальный уровень воды), м; Q – дебит выработки, м³/сут.; k – коэффициент фильтрации, м/сут.; r – приведенный радиус горной выработки, м.

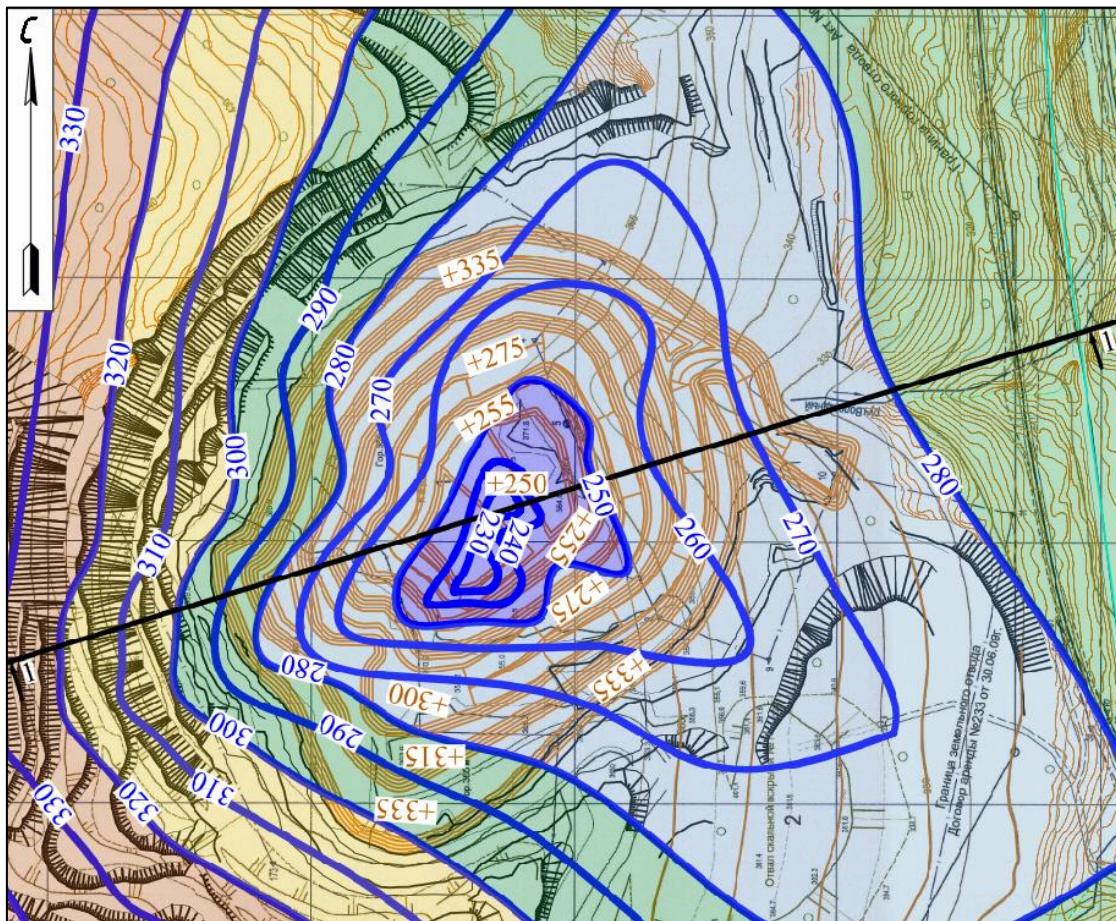


Рис. 1 – Депрессионная воронка, спрогнозированная на проектное положение карьерной выемки

Трехмерная интерпретация двухмерного гидрогеологического моделирования представлена на рис. 2. С целью дальнейшего вычисления, хранения и визуализации расчетных величин моделирование выполнено блочным методом. Сверху модель ограничена цифровой поверхностью воронки депрессии. Для удобства восприятия модели в аксонометрической проекции, блочная структура заштрихована в зависимости от высотной отметки каждого блока.

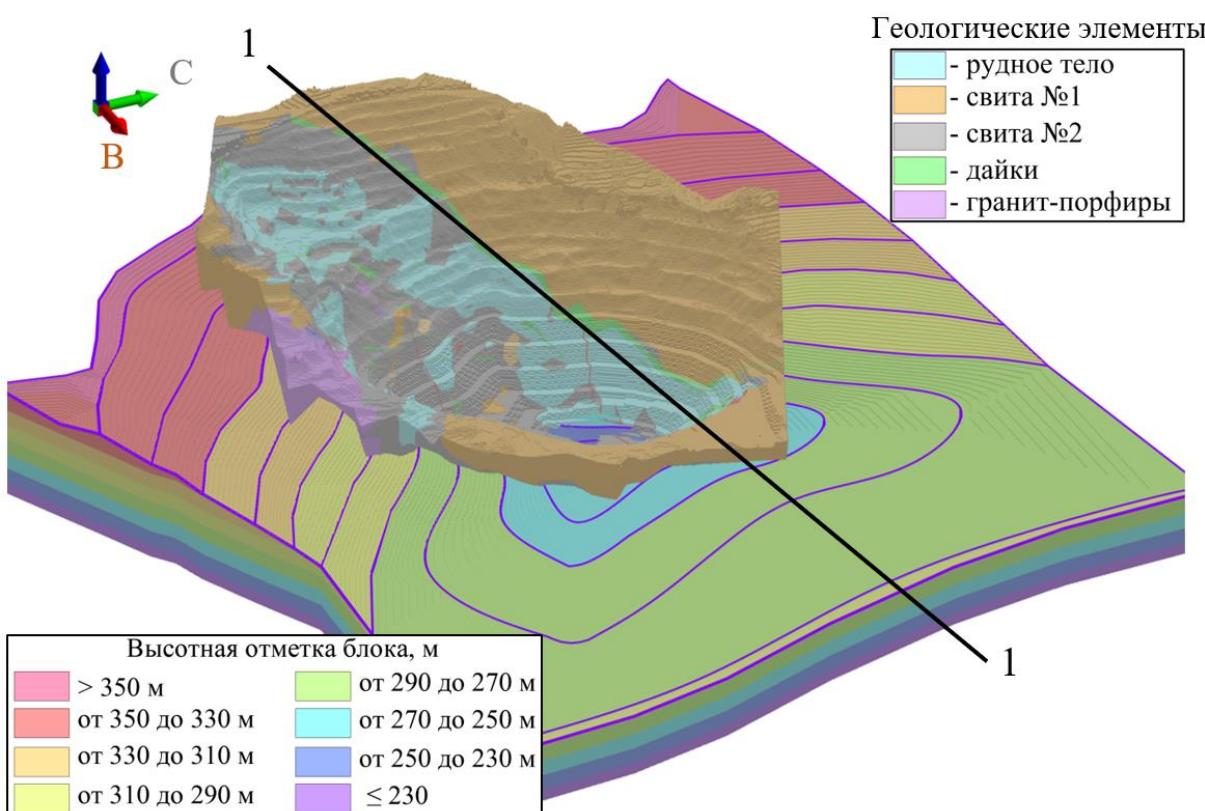


Рис. 2 – Трехмерная гидрогеологическая модель месторождения
(по совокупности расчетов в двухмерной постановке)

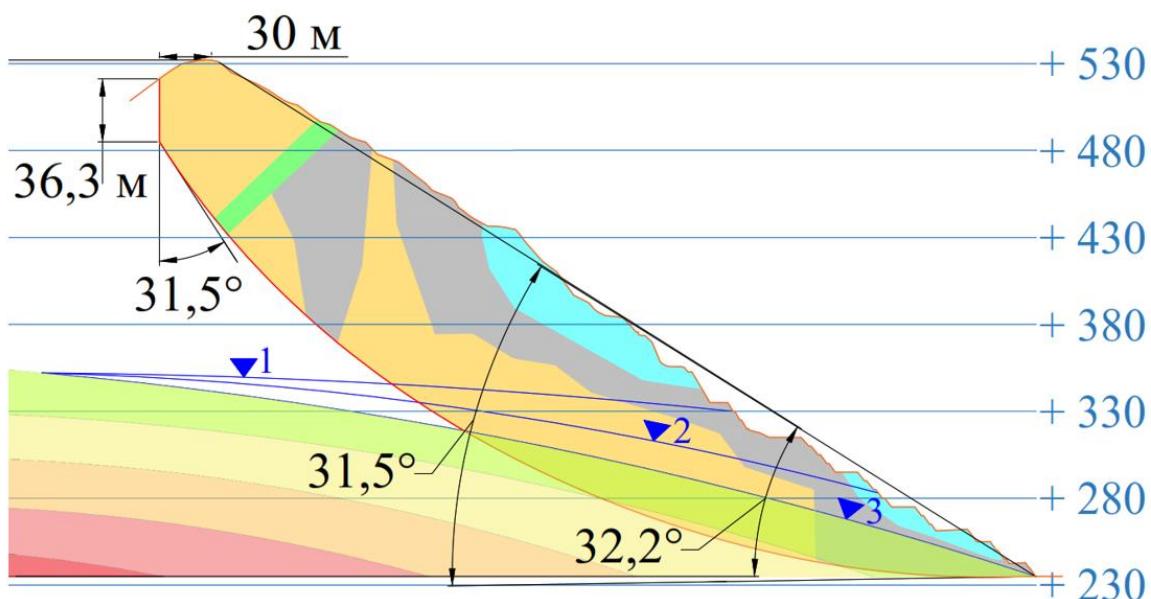
Расчет устойчивости борта карьера

Блочная структура позволяет оперативно получить хранимую информацию. Например, при определении наиболее "слабого" участка борта в части геомеханической устойчивости, необходимо знать не только геологические элементы, слагающие борт, и степень их структурной неоднородности, но и величину напоров по потенциальной поверхности скольжения (рис. 3).

Положение депрессионной кривой на расчетном сечении обуславливает величину сил гидростатического взвешивания – напор водного столба, и гидродинамического давления – снижение напора вследствие сопротивления вмещающей толщи фильтрации подземных вод. Для учета совместного влияния сил гидростатического взвешивания и гидродинамического давления на устойчивость бортов карьеров, применяется принцип эквивалентности объемных и контурных сил, функционал которого имеет вид [2]:

$$D = \gamma_B \int_{l1}^{l2} (H_B - H_i) dl , \quad (2)$$

где H_B – абсолютная отметка уровня подземных вод над расчетным участком приращения dl , м; H_i – абсолютная отметка расчетного участка dl , м.



Условные обозначения:

Напор водного столба

 	- от 0 до 30 м	 	- от 60 до 90 м
 	- от 30 до 60 м	 	- от 90 до 120 м

Геологические элементы

 	- рудное тело	 	- дайки
 	- свита №1	 	- свита №2

Рис. 3 – Расчетное сечение по линии 1-1, с положением уровня подземных вод для различных горизонтов разгрузки

Сечение по линии 1-1 выбрано для оценки влияния степени обводнения борта карьера на его устойчивость ввиду того, что при прогнозном положении уровня подземных вод гидростатический напор на данном участке достигает наибольших значений. Кроме того, линия 1-1 проведена перпендикулярно к гидроизогипсам, что обеспечивает истинную крутизну депрессионной кривой и, как следствие, достоверные величины напорных градиентов в пределах расчетных блоков.

Принятое допущение о структурной однородности вмещающей толщи обосновывает применение методики алгебраического сложения сил по плавной криволинейной поверхности скольжения в качестве расчетной.

Коэффициент устойчивости бортов карьера при детерминированном подходе определяется как отношение удерживающих сил трения и сцепления к сдвигающим. Учитывая силы воздействия подземных вод на призму возможного обрушения получим [3]:

$$n = \frac{\operatorname{tg} \varphi \sum (N - D) + Cl}{\sum T}, \quad (3)$$

где $\operatorname{tg} \varphi \sum N + Cl$ – сумма сил трения и сцепления, удерживающих откос, т; D – результирующая сила гидростатического и гидродинамического давления, т; $\sum T$ – сумма касательных сил, сдвигающих откос, т; C , φ – сцепление, $\text{т}/\text{м}^2$, и угол внутреннего трения, градус, пород по поверхности скольжения.

Поскольку геологические условия месторождения относительно простые, в качестве расчетных физико-механических характеристик горных пород приняты средневзвешенные величины угла внутреннего трения ($\varphi = 27^\circ$),

сцепления ($C = 32,1 \text{ т/м}^2$) и объемного веса ($\gamma = 2,89 \text{ т/м}^3$) пород, с учетом размягчения в результате обводнения призмы возможного обрушения.

Результаты расчета и выводы

Изменением положения депрессионной кривой, с учетом разгрузки подземных вод на фактическом (+330 м), промежуточном (+285 м) и проектном (+235 м) горизонтах, определены коэффициенты устойчивости борта карьера при различной степени обводнения. Результаты представлены графически, на рис. 4.



Рис. 4 – Зависимость коэффициента устойчивости борта карьера по сечению 1-1, от горизонта разгрузки грунтовых вод

Как видно из графика, коэффициент устойчивости после понижения горизонта разгрузки до прогнозного положения (+235 м) увеличился на 15% ($n_1 = 1,10$, $n_2 = 1,25$), что соответствует нормативному значению согласно ФНиП [4]: для бортов карьеров на этапе проектирования доработки карьера $n = 1,20$. Увеличение коэффициента устойчивости наблюдается в связи с уменьшением гидростатических напоров в пределах призмы возможного обрушения в результате снижения уровня подземных вод.

Применение гидрогеологической модели позволяет учитывать в расчетах устойчивости конкретизированное положение подземных вод. Игнорируя прогнозные гидрогеологические расчеты, геомеханическая оценка устойчивости бортов карьеров будет иметь заведомо заниженные результаты, поскольку расчеты устойчивости в такой ситуации необходимо производить при условии фактического положения подземных вод, без учета понижения горизонта горных работ. В таком случае, для рассматриваемого месторождения коэффициент устойчивости составил $n = 1,10$, в связи с чем, необходимо корректировать проектный контур карьера, уменьшая общую высоту борта на 100 м (30%) или

выполаживая его результирующий угол на $2,5^\circ$ (дополнительные 1,5 млн. м³ горной массы для рассматриваемой выработки).

Список литературы

1. Троянский С.В. Гидрогеология и осушение месторождений полезных ископаемых / Троянский С.В., Белицкий А.С., Чекин А.И. – Москва: Углехимиздат, 1956. – 306 с.
2. Рид Дж. Руководство по проектированию бортов карьера (пер. с англ.) / Джон Рид, Питер Стейси. – Екатеринбург: Правовед, 2015 – 544 с.
3. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – Санкт-Петербург: ВНИМИ, 1998. – 208 с.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом" / Утв. приказом Ростехнадзора от 10.11.2020 № 436 / Зарегистрированы в Минюсте России 21.12.2020 № 61624.